

PACS: 72.20.-i

А.Ю. Моллаев¹, И.К. Камилов¹, Р.К. Арсланов¹, У.З. Залибеков¹,
В.М. Новоторцев², С.Ф. Маренкин²

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ МАРГАНЦА НА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ТОЧКИ И ПАРАМЕТРЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА НА ШКАЛЕ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ В p -CdGeAs₂:Mn

¹Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН
ул. Ярагского, 94, г. Махачкала, 367003, Россия
E-mail: a.mollaev@mail.ru

²Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН
Ленинский пр-т, 31, г. Москва, 119991, Россия

В новом высокотемпературном ферромагнитном полупроводнике p -Cd_{1-x}Mn_xGeAs₂ ($x = 0-0.36$) в области комнатных температур измерены барические зависимости удельного электросопротивления ρ и коэффициента Холла R_H . На зависимостях $\rho(P)$ и $R_H(P)$ обнаружены структурные фазовые переходы, положения которых сдвигаются в сторону низких давлений с увеличением процентного содержания марганца от 5.9 GPa на образце CdGeAs₂ до 4.8 GPa на p -Cd_{0.64}Mn_{0.36}GeAs₂. На зависимостях $R_H(P)$ кристаллов с большим ($x \geq 0.18$) процентным содержанием марганца обнаружены аномалии, что, вероятно, обусловлено магнитными свойствами или наличием примесных центров.

1. Введение

В последние годы ферромагнитные полупроводники с высокой температурой Кюри, обладающие как полупроводниковыми, так и магнитными свойствами, широко применяются в спинтронике и вызывают большой интерес исследователей.

В работе [1] были измерены удельное электросопротивление и коэффициент Холла на ферромагнитных образцах p -Cd_{1-x}Mn_xGeAs₂ ($x = 0-36$) при гидростатическом сжатии при подъеме и сбросе давления.

С целью определения влияния процентного содержания легирующей примеси на положение характеристических точек и параметров фазового перехода на шкале высоких давлений измерено электросопротивление и коэффициент Холла в области фазового перехода при подъеме и сбросе давления до $P = 9$ GPa.

2. Методика и техника эксперимента

Измерения проводили на моно- и поликристаллических образцах p - $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ в аппаратах высокого давления типа «тороид» при гидростатических давлениях до $P \leq 9$ GPa в области комнатных температур при подъеме и сбросе давления. Аппарат «тороид» помещали в соленоид с напряженностью $H \leq 5$ kOe. В качестве рабочей ячейки использовали фторопластовую капсулу полезным объемом $\sim 80 \text{ mm}^3$, которая имела 8 электровыводов, что позволяло одновременно измерить два кинетических эффекта и давление. Давление контролировали по манганиновому манометру, градуированному по нескольким реперным точкам во всем диапазоне давлений. Более подробно методика и техника эксперимента описаны в работах [2,3]. Синтез образцов проводили из высокочистых порошков монокристаллов CdAs_2 и Ge, приготовленных из монокристаллов. Марганец использовали марки ЧДА. Образцы имели форму параллелепипеда с размерами $3 \times 1 \times 1 \text{ mm}$, однородность образцов контролировали по значениям удельного электросопротивления и коэффициента Холла четырехзондовым методом. Основные электрофизические характеристики измеренных образцов представлены в таблице, где x – содержание марганца в процентах, ρ – удельное электросопротивление, R_H – коэффициент Холла.

3. Результаты и их обсуждение

Барические зависимости удельного электросопротивления ρ и коэффициента Холла R_H для всех исследованных образцов p - $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ представлены на рис. 1. Во всех образцах при давлениях $P = 5.9; 5.7; 5.5; 5.4; 5.2; 4.9; 4.8$ GPa на зависимостях $\rho(P)$ (рис. 1,а) и $R_H(P)$ (рис. 1,б) обнаружены структурные фазовые переходы. При давлениях $P = 2.9; 2.8; 2.7; 2.6; 2.5; 2.4; 2.3$ GPa эти переходы обнаружены и при сбросе давления.

Представлялось интересным проследить зависимость положения характеристических точек и величин параметров в зависимости от степени легирования образцов.

На основе представлений о поведении гетерофазных структур при возмущающем внешнем воздействии [4] и собственных экспериментальных

Таблица

Электрофизические параметры исследованных образцов p -типа при комнатной температуре и атмосферном давлении

№ п/п	Образцы	x	$\rho, \Omega \cdot \text{cm}$	$R_H, \text{cm}^3/\text{C}$
1	CdGeAs_2	0	2.16	964.5
2	$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$	0.003	3.0	504
3		0.06	10	2250
4		0.18	0.23	10
5		0.30	0.62	5
6		0.36	0.12	0.5

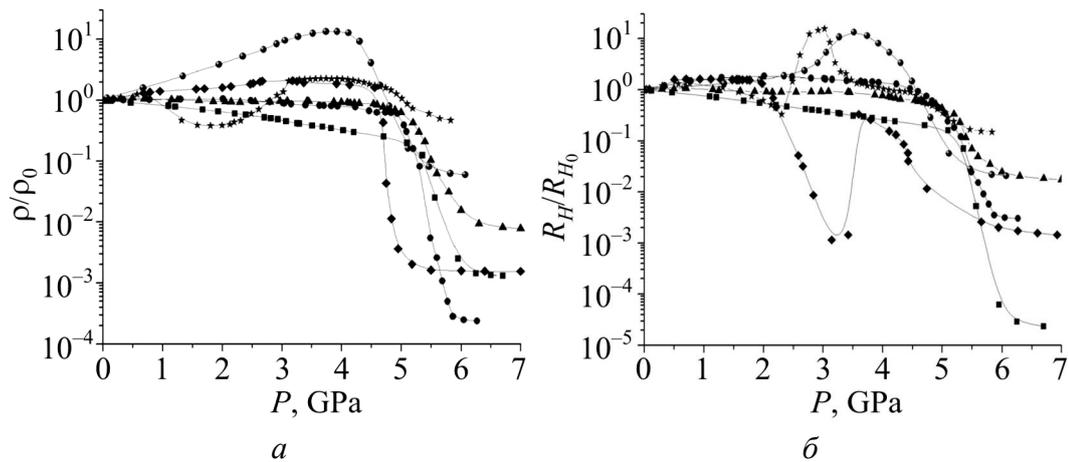


Рис. 1. Барические зависимости удельного электросопротивления ρ (а) и коэффициента Холла R_H (б) при подъеме давления для исследованных образцов CdGeAs_2 (—■—) и $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ (—●— $x = 0.003$, —▲— 0.06 , —◆— 0.18 , —●— 0.30 , —★— 0.36)

данных, основываясь на точках начала и конца фазового превращения P_b и P_e и при сбросе P'_b и P'_e давления в изометрических условиях для структурного фазового перехода можно определить следующие его характеристические параметры:

– точку фазового равновесия при подъеме P_0 и сбросе P'_0 давления, которая характеризует точку равновесия низко- и высокопроводящих фаз:

$$P_0 \approx P'_0 = 0.5(P_b + P'_b) = 0.5(P_e + P'_e); \quad (1)$$

– точку метастабильного равновесия при подъеме

$$P_{\text{OM}} = 0.5(P_b + P_e) \quad (2)$$

и сбросе давления

$$P'_{\text{OM}} = 0.5(P'_b + P'_e). \quad (3)$$

Давления метастабильного равновесия P_{OM} и P'_{OM} определяют давление, где согласно теории протекания при достижении величины относительного объема высокопроводящей фазы $v_c \approx 0.17$ формируется сквозной канал (бесконечный кластер) [9];

– гистерезис термодинамический, обусловленный внутренними напряжениями, возникающими при образовании включений новой фазы и, как следствие этого, необходимостью затраты работы для образования таких включений:

$$P_{\text{GT}} = P_b - P'_e \approx P_b - P_e \approx P_{\text{OM}} - P'_{\text{OM}}; \quad (4)$$

– гистерезис флуктуационный при подъеме давления:

$$P_{\text{GF}} = P_e - P_b; \quad (5)$$

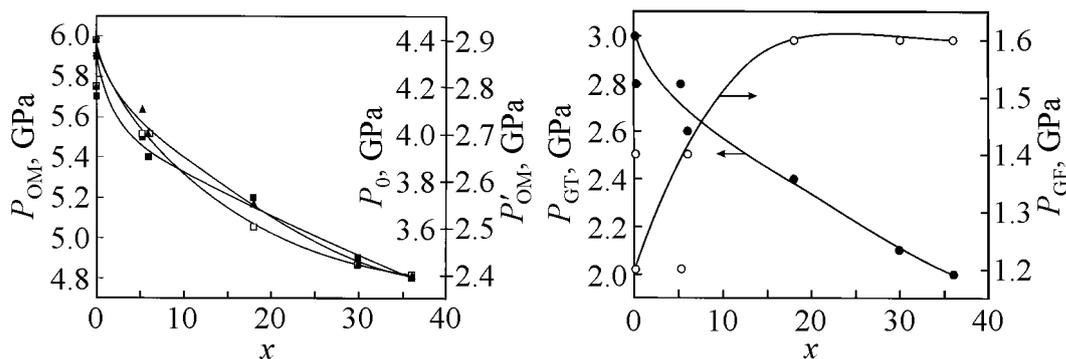


Рис. 2. Барические зависимости фазового (—▲—) и метастабильного равновесия при подъеме (—■—) и сбросе (—□—) давления

Рис. 3. Барические зависимости величин гистерезисов термодинамического P_{GT} и флуктуационного P_{GF} от процентного содержания магнитной примеси Mn

– гистерезис флуктуационный при сбросе давления, обусловленный неоднородным распределением давления, температуры и дефектов:

$$P_{GF} = P'_b - P'_e. \quad (6)$$

На рис. 2 представлены зависимости фазового и метастабильного равновесия, из которых видно, что с увеличением процентного содержания марганца точки P_0 , P_{OM} , P'_{OM} смещаются в сторону низких давлений. На рис. 3 приведены зависимости величин гистерезисов термодинамического P_{GT} и флуктуационного P_{GF} от процентного содержания магнитной примеси Mn. Из рисунка следует, что с увеличением процентного содержания магнитной примеси величина P_{GT} падает, а величина P_{GF} – растет и при $x > 15$ выходит на насыщение.

4. Заключение

В заключение можем констатировать, что впервые определены зависимости характеристических точек и параметров фазового перехода от процентного содержания магнитной примеси. Физические процессы, лежащие в основе этих явлений, обсуждаются.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект №05-02-16608) и подпроекта Президиума РАН П-09 «Исследование вещества в экстремальных условиях».

1. А.Ю. Моллаев, И.К. Камилов, Р.К. Арсланов, У.З. Залибеков, С.Ф. Маренкин, *Fizika* **13**, № 1–2, 320 (2007).
2. L.G. Khvostantsev, V.A. Sidorov, *Phys. Status Solidi* **A64**, 379 (1981).
3. А.Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов, Л.А. Сайпулаева, С.Ф. Габибов, С.Ф. Маренкин, *ФТВД* **11**, № 4, 61 (2001).

4. А.И. Ройтбурд, ФТТ **25**, 33 (1983).
5. А.И. Ройтбурд, УФН **113**, 69 (1974).
6. А.И. Ройтбурд, ФТТ **26**, 2025 (1984).
7. В.И. Козлов, Г.Р. Умаров, А.А. Фирсов, ФТВД вып. 23, 9 (1986).
8. М.И. Даунов, А.Б. Магомедов, А.Ю. Моллаев, С.М. Салихов, Л.А. Сайпулаева, Сверхтвердые материалы № 3, 3 (1992).
9. А.Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов, Р.И. Ахмедов, Л.А. Сайпулаева, ФТВД **4**, № 3–4, 66 (1994).
10. Б.И. Шкловский, Ф.Л. Эфрос, Электронные свойства легированных полупроводников, Наука, Москва (1979).

А.Ю. Молаев, I.K. Камілов, Р.К. Арсланов, У.З. Залібеков, В.М. Новоторцев, С.Ф. Маренкін

ВПЛИВ ПРОЦЕНТНОГО ВМІСТУ МАРГАНЦЮ НА ХАРАКТЕРИСТИЧНІ ТОЧКИ І ПАРАМЕТРИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ НА ШКАЛІ ВИСОКОГО ТИСКУ В p -CdGeAs₂:Mn

У новому високотемпературному ферромагнітному напівпровіднику p -Cd_{1-x}Mn_xGeAs₂ ($x = 0-0.36$) в області кімнатних температур зміряно баричні залежності питомого електроопору ρ і коефіцієнта Хола R_H . На залежностях $\rho(P)$ і $R_H(P)$ виявлено структурні фазові переходи, положення яких зрушуються у бік низького тиску зі збільшенням процентного вмісту марганцю від 5.9 GPa на зразку CdGeAs₂ до 4.8 GPa на p -Cd_{0.64}Mn_{0.36}GeAs₂. На залежностях $R_H(P)$ кристалів з великим ($x \geq 0.18$) процентним вмістом марганцю виявлено аномалії, що, імовірно, обумовлено магнітними властивостями або наявністю домішкових центрів.

A.Yu. Mollaev, I.K. Kamilov, R.K. Arslanov, U.Z. Zalibekov, V.M. Novotorzev, S.F. Marenkin

INFLUENCE OF MANGANESE PERCENTAGE ON CHARACTERISTIC POINTS AND PHASE-TRANSITION PARAMETERS ON SCALE OF HIGH PRESSURES IN p -CdGeAs₂:Mn

Baric dependences of specific electroresistance ρ and Hall coefficient R_H have been measured for a new high-temperature ferromagnetic semiconductor Cd_{1-x}Mn_xGeAs₂ ($x = 0-0.36$) in the region of room temperatures. Structural phase transitions, positions of which move towards low pressures with the rise of manganese percentage from 5.9 GPa for CdGeAs₂ sample up to 4.8 GPa for p -Cd_{0.64}Mn_{0.36}GeAs₂ sample have been found on the dependences $\rho(P)$ and $R_H(P)$. There have also been found anomalies on dependences $R_H(P)$ for crystals with higher manganese percentage ($x \geq 0.18$) that are, probably, stipulated by either magnetic features or the presence of impurity centers.

Fig. 1. Baric dependences of the specific electroresistance ρ (a) and of the Hall coefficient R_H (b) at pressure rise for the investigated samples CdGeAs₂ (—■—) and Cd_{1-x}Mn_xGeAs₂ (—●— $x = 0.003$, —▲— 0.06 , —◆— 0.18 , —●— 0.30 , —★— 0.36)

Fig. 2. Baric dependences of phase (—▲—) and metastable balance at pressure rise (—■—) and release (—□—)

Рис. 3. Baric dependences of the values of hystereses for thermodynamic P_{GT} and fluctuational P_{GF} on magnetic admixture Mn percentage